

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ І УПРАВЛІННЯ

Р.М. ЛІТНАРОВИЧ

**ПОПЕРЕДНЯ ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ
ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ
НЕСУЦІЛЬНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ**

Навчальний посібник з курсу

“ОСНОВНІ ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ”

Частина XIV

м. Чернігів, 2001 р.

УДК 378.147.31

Літнарів Р.М. Попередня оцінка точності елементів геодезичних мереж несучільних спостережень. Навчальний посібник з курсу “Основні геодезичні роботи”. Частина XIV, ЧДІЕ і У, Чернігів, 2001, - 28 с.

Затверджено на засіданні вченої ради ЧДІЕ і У, протокол № 6 від 27.06.01 р.

Рецензенти : Боровий В.О. д.т.н., професор
Войтенко С.П. д.т.н., професор
Канівець В.І. д.с.-г. наук, професор

На стадії проектування геодезичних мереж несучільних спостережень виникає необхідність у попередній оцінці точності елементів запроектованої мережі.

Даній проблемі і посвячується XIV частина посібника.

ЗМІСТ

Вступ	2
1. Похибка дирекційного кута в рядах несучільних спостережень триангуляції	3
2. Похибка зв'язуючої сторони. Поздовжній і поперечний зсув ряду	8
3. Попередній розрахунок точності елементів ряду парних ланок засічок	15
4. Попередній розрахунок точності елементів ряду лінійно-кутового ряду несучільних спостережень	18
Висновки	26
Література	27

© Літнaрович Р.М., 2001

Вступ

На стадії проектування геодезичних мереж несучільних спостережень виникає необхідність у попередній оцінці точності елементів запроектованої мережі.

Даній проблемі і посвячується XIV частина посібника.

Розглядається точність передачі дирекційного кута в рядах несучільних спостережень тріангуляції. Дається виведення формули похибки зв'язуючої сторони, аналізується поздовжній і поперечний зсув ряду.

Приводиться попередній розрахунок точності елементів в ряді парних ланок засічок.

На прикладі однієї моделі робиться попередній розрахунок точності лінійно - кутового ряду несучільних спостережень. Розробці технології побудови лінійно - кутових мереж були присвячені XII і XIII частини посібника по курсу «Основні геодезичні роботи».

Всі виведені формули наближені і їх слід використовувати лише на попередньому етапі проектування мереж. Але вони необхідні для попереднього дослідження точності проектуємих мереж.

В подальшому по виміряним транспортиром кутам або сторонам будується модель, яка спотворюється генерованими істинними похибками, зрівноважується і проводиться оцінка точності елементів запроектованих мереж. Ці дані будуть більш надійними, і вони є розглянуті нами у попередніх випусках.

1. Похибка дирекційного кута в рядах несучільних спостережень триангуляції

Дослідження проведемо на прикладі ряду, представленого на рис. 1.

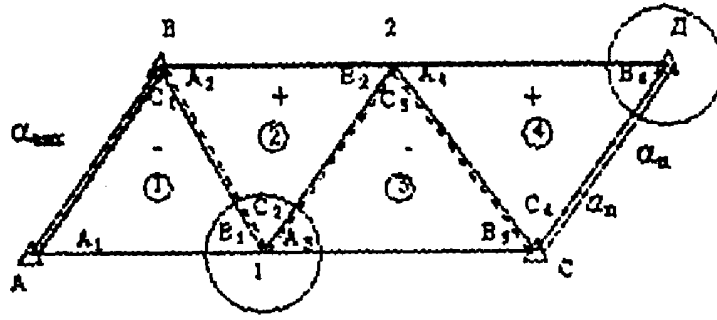


Рис. 1. Схема мережі

На рис. 1 кружком обведені пункти, вимірювання кутів на яких не використовувались в ряді несучільних спостережень.

Запишемо формулу передачі дирекційних кутів

$$\alpha_n = \alpha_{вих} + \left[(-1^i) \times C_i \right]_{i=1}^n \pm 180^\circ \quad (1.1)$$

Умовне рівняння дирекційних кутів має вигляд

$$- (C_1) + (C_2) - (C_3) + \dots (C_n) + W\alpha = 0 \quad (1.2)$$

Вагова функція визначення кінцевого дирекційного кута буде

$$F\alpha_n = - (C_1) + (C_2) - (C_3) + \dots \pm (C_n) , \quad (1.3)$$

де (C_i) – поправки умовних рівнянь з коефіцієнтами при цих поправках, рівних ± 1 .

Умовне рівняння фігур записується у вигляді

$$(A_i) + (B_i) + (C_i) + W_i = 0, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1.4)$$

Коефіцієнти умовних рівнянь будуть

$$4$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1$$

$$b_1 = b_2 = b_3 = 1.$$

Так як умовні рівняння фігур не мають загальних поправок, то неквадратичні коефіцієнти будуть рівні нулю, тобто

$$[ab] = [ac] = \dots = 0$$

$$[bc] = \dots = 0.$$

Тому, в таких випадках перетворені квадратичні коефіцієнти будуть рівні неперетвореним і рівні 3.

$$[ab \cdot 1] = [bb] = 3,$$

$$[cc \cdot 2] = [cc] = 3,$$

а коефіцієнти вагової функції

$$f_3 = -1; f_6 = +1; \dots,$$

і решта коефіцієнтів $f_i = 0$,
тобто

$$f_{3n} = \pm 1.$$

Тоді

$$[ff] = n$$

$$[af] = -1,$$

$$[bf \cdot 1] = [bf] = +1$$

Обернена вага функції зрівноважених аргументів

$$\frac{1}{P_f} = [ff \cdot r] = [ff] - \frac{[af]^2}{[aa]} - \frac{[bf \cdot 1]^2}{[bb \cdot 1]} - \dots - \frac{[rf(r-1)]^2}{[rr(r-1)]}, \quad (1.5)$$

де a, b, r – коефіцієнти першого, другого та останнього умовного рівняння, f – коефіцієнти вагової функції.

Причому

$$f_1 = \frac{\partial F}{\partial i}; F = F_0 + \Delta F;$$

$$\Delta F = f_1(1) + f_2(2) + f_3(3) + \dots + f_n(n)$$

де (1), (2), (3), ... – складові оберненої ваги, при зрівноваженні за відповідні умови.

З врахуванням вищевказаного

$$\frac{1}{Pa_n} = n - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} \dots - \frac{1}{3} = \frac{2}{3}n. \quad (1.6)$$

Тоді

$$ma_n = m_\beta \sqrt{\frac{1}{Pa_n}} = m_\beta \sqrt{\frac{3}{2}n} = 0,85m_\beta \sqrt{n}, \quad (1.7)$$

де m_β - вимірювання кута.

Як бачимо, теоретично зрівноваження за умови фігур повинно підвищити точність визначення дирекційного кута.

Для ряду, незрівноваженого за умови фігур, якщо дирекційний кут вираховується по виміряним кутам

$$ma_n = m\beta\sqrt{n} . \quad (1.8)$$

Сказане вище представимо в табличному вигляді для нашого ряду і отримаємо формули оберненої ваги зрівноваженого дирекційного кута ряду суцільних і несуцільних спостережень триангуляції.

Таблиця 1

Коефіцієнти умовних рівнянь і вагової функції

Назва по- правки	α	b	c	d	e_α	F_α
(A ₁)	1					
(B ₁)	1					
(C ₁)	1				-1	-1
(A ₂)		1				
(B ₂)		1				
(C ₂)		1			+1	+1
(A ₃)			1			
(B ₃)			1			
(C ₃)			1		-1	
(A ₄)				1		
(B ₄)				1		
(C ₄)				1	+1	

Таблиця 2

Коефіцієнти нормальних рівнянь

	$\alpha]$	b]	c]	d]	e]	$F_\alpha]$
[α	3	0	0	0	-1	-1
[b		3	0	0	+1	+1
[c			3	0	-1	0
[d				3	+1	0
[e					4	2
[F_α						2

Рішення нормальних рівнянь і вагових функцій

t1i	$\sqrt{3}$	0	0	0	$-1/\sqrt{3}$	$-1/\sqrt{3}$
t2i		$\sqrt{3}$			$(1-0)/\sqrt{3}$	$(+1-0)/\sqrt{3}$
t3i			$\sqrt{3}$		$(-1-0)/\sqrt{3}$	0
t4i				$\sqrt{3}$	$(1-0)/\sqrt{3}$	0
t5i					$\sqrt{4-\frac{1}{3}-\frac{1}{3}-\frac{1}{3}-\frac{1}{3}}$	$\left(2-\frac{1}{3}-\frac{1}{3}\right)/2\sqrt{\frac{2}{3}}$
$\sqrt{1/P_a}$						$\sqrt{2-\frac{1}{3}-\frac{1}{3}-\left[\left(2-\frac{2}{3}\right)/2\sqrt{\frac{2}{3}}\right]^2}$

На основі таблиці 3 запишемо формулу оберненої ваги дирекційного кута ряду суцільних спостережень триангуляції, який опирається на дві сторони з вихідними дирекційними кутами

$$\frac{1}{Pa_r} = \left(r - \frac{r}{3}\right) - \frac{\left(r - \frac{r}{3}\right)^2}{n - \frac{n}{3}}, \quad (1.9)$$

або

$$\frac{1}{Pa_r} = \left(r - \frac{r}{3}\right) \left[1 - \frac{\left(r - \frac{r}{3}\right)}{n - \frac{n}{3}}\right], \quad (1.10)$$

де r - число трикутників, які входять у вагову функцію;
 n - число всіх трикутників в ряді.

Так при $r = n$, тобто обернена вага дирекційного кута кінцевої сторони невірного ряду згідно формули (1.9) буде

$$\frac{1}{Pa_n} = 0. \quad (1.11)$$

Для ряду несучільних спостережень триангуляції отримуємо

Таблиця 4

Коефіцієнти умовного рівняння і вагової функції

Назва по- правки	Суцільні спостереження		Несу цільні спостереження	
	ϵ_α	F_α	ϵ'_α	F'_α
(A ₁)	0	0	0	0
(B ₁)				
(C ₁)	-1	-1	-1	-1
(A ₂)	0	0	-1	-1
(B ₂)	0	0	-1	-1
(C ₂)	+1	+1		
(A ₃)	0	0		
(B ₃)	0	0	0	0
(C ₃)	-1	0	-1	0
(A ₄)	0	0	0	0
(B ₄)	0	0		
(C ₄)	+1	0	+1	0

Таблиця 5

Коефіцієнти нормальних рівнянь і вагових функцій

	$e]$	$F_\alpha]$
$[e$	5	3
$[F_\alpha$		3

$$\frac{1}{Pa_r} = [fa \cdot f_\alpha] - \frac{[af]^2}{[aa]} = 3 - \frac{9}{5} = 12.$$

На основі вище викладеного, формула оберненої ваги дирекційного кута для ряду несущільних спостережень буде

$$\frac{1}{Pa_r} = (r+k) - \frac{(r+k)}{n+k}, \quad (1.12)$$

або

$$\frac{1}{Pa_r} = (r+k) \cdot \left(1 - \frac{(r+k)}{n+k}\right), \quad (1.13)$$

де k – число трикутників, у яких не виміряні проміжні кути.

При $r = n$, тобто обернена вага дирекційного кута кінцевої сторони невірального ряду, отримуємо

$$\frac{1}{Pa_n} = 0. \quad (1.14)$$

Вимірюючи кути з точністю 1'' для нашого ряду суцільних спостережень отримаємо середньоквадратичну похибку зрівноваженого дирекційного кута зв'язуючої сторони 1-2

$$\sqrt{\frac{1}{P\alpha}} = \sqrt{1\frac{1}{3}\left[1 - 1\frac{1}{3} \middle/ \left(4 - \frac{4}{3}\right)\right]} = 0,82,$$

$$ma_{12} = 1'' \sqrt{0,82} = 0,90',$$

Для ряду несучільних спостережень будемо мати

$$ma'_{12} = 1'' \sqrt{1,2} = 1,1''.$$

При других рівних умовах не має сенсу віддавати перевагу ряду суцільних спостережень, тому що 0,2'' підвищення точності потребує забезпечити спостереження додатково ще двох пунктів.

Виконаємо попередній розрахунок точності дирекційного кута a_{78} розглянутого нами ряду при $n=7$, $r=4$, $k=1$.

$$ma_{\text{суц}78} = 1,2'' \sqrt{\left(4 - \frac{4}{3}\right) \left(1 - \frac{4 - \frac{4}{3}}{7 - \frac{7}{3}}\right)} = 1,28'',$$

для ряду несучільних спостережень

$$ma_{\text{несуц}78} = 1,16'' \sqrt{(4+1) \left(1 - \frac{4+1}{7+1}\right)} = 1,59''.$$

Підвищити точність дирекційного кута на 0,3'' додатковим спостереженням чотирьох пунктів тріангуляції 3 класу при точності визначення координат в 4 см сенсу не має.

За формулою (1.7) визначають допустиме число трикутників у вільному ряду тріангуляції. Нехай, наприклад, необхідно, щоб $ma_n \leq 5''$. При $ma_{\text{вих}} \leq 5''$, $m\beta \leq 2''$, отримаємо

$$n = \frac{2}{3} \cdot \frac{ma_n^2 - ma_{\text{вих}}^2}{m\beta^2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{25 - 2,25}{4} = 8,$$

Тобто ряд тріангуляції повинен складатись не більше ніж із 8 трикутників.

2. Похибка зв'язуючої сторони. Поздовжній і попередний зсув ряду

За вагову функцію приймемо вираз кінцевої сторони a_n

$$Fs = a_n = b_1 \frac{\sin A_1 \sin A_2 \sin A_3 \dots \sin A_n}{\sin B_1 \sin B_2 \sin B_3 \dots \sin B_R} = S \quad (2.1)$$

Вагови коефіцієнти отримаємо як частині похідні по виміряним кутам і представимо їх множачи і розділивши на \sin цих кутів

$$f_1 = \frac{\partial F}{\partial A_1} = S \cdot \operatorname{ctg} A_1$$

$$f_2 = \frac{\partial F}{\partial A_1} = -S \cdot \operatorname{ctg} B_1.$$

При виводі коефіцієнтів прийнято до уваги, що похідна

$$f_3 = \frac{\partial F}{\partial C_1} = 0,$$

тому що кут C в функції не зустрічається.

Замість індексу 1 поставимо індекс i для i -го трикутника і квадратичний коефіцієнт вагової функції буде

$$[ff] = S^2 \sum_{i=1}^n (ctg^2 A_i + ctg^2 B_i). \quad (2.2)$$

Представимо решту коефіцієнтів

$$[af] = S(ctg A_1 - ctg B_1),$$

$$[bf_1] = [bf] = S(ctg A_2 - ctg B_2),$$

$$[cf \cdot 2] = [cf] = \dots = 0,$$

$$[aa] = [bb \cdot 1] = [cc \cdot 2] = 3.$$

Підставляючи значення цих коефіцієнтів, обернена вага функції буде

$$\frac{1}{P\alpha_R} = S^2 \sum_{i=1}^n (ctg^2 A_i + ctg^2 B_i) - \frac{S^2}{3} \sum_{i=1}^n (ctg A_i - ctg B_i)^2,$$

або

$$\frac{1}{P\alpha_R} = S^2 \sum_{i=1}^n (ctg^2 A_i + ctg^2 B_i + ctg A_i ctg B_i), \quad (2.3)$$

де вираз

$$R = \frac{2}{3} (ctg^2 A_i + ctg^2 B_i + ctg A_i ctg B_i)$$

(2.4)

і буде похибкою геометричного зв'язку трикутника.

Середня квадратична похибка зв'язуючої сторони ряду, зрівноваженого за умови фігур, розраховується за формулою

$$m^2 \alpha_R = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} S^2 \sum_1^n R_i.$$

(2.5)

З врахуванням похибки вихідної сторони

$$m^2 a_n = m_b^2 \frac{\alpha_n^2}{b^2} + \frac{2m_\beta^2 \alpha^2}{3\rho^2} n (ctg^2 A_i + ctg^2 B_i + ctg A_i ctg B_i). \quad (2.6)$$

формула (2.6) кінцева.

В частковому випадку, припускаючи, що похибка геометричного зв'язку однакові, формулу (2.6) представимо у вигляді

$$\frac{m^2 a_R}{a_n^2} = \frac{m_b^2}{b^2} = \frac{2m_\beta^2}{3\rho^2} n (ctg^2 A + ctg^2 B + ctg A ctg B), \quad (2.7)$$

тобто квадрат відносної похибки прямо пропорційний числу трикутників.
 При $A=B=60^\circ$ отримаємо

$$\left(\frac{m_\alpha}{a}\right)^2 = \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \frac{2m_\beta}{3p}n \quad (2.8)$$

Похибка проміжної сторони C_n визначиться формулою (2.6) якщо в останньому трикутнику замість A_n підставити C_n .

Викладене вище представимо у табличному вигляді для нашого ряду і одержимо формули оберненої ваги зрівноваженої сторони ряду суцільних і несуцільних спостережень триангуляції.

Таблиця 6

Коефіцієнти умовних рівнянь і вагової функції

Назва поправки	α	b	c	d	e_1	F_1
(A ₁)	1				+ctgA ₁	+ctgA ₁
(B ₁)	1					
(C ₁)	1				-ctgB ₁	-ctgB ₁
(A ₂)		1			+ctgA ₂	+ctgA ₂
(B ₂)		1				
(C ₂)		1			-ctgB ₂	-ctgB ₂
(A ₃)			1		+ctgA ₃	
(B ₃)			1			
(C ₃)			1		-ctgB ₃	
(A ₄)				1	+ctgA ₄	
(B ₄)				1		
(C ₄)				1	-ctgB ₄	

Таблиця 7

Коефіцієнти нормальних рівнянь

	a]	b]	c]	d]	e]	f ₂]
[α	3	0	0	0	ctgA ₁ – ctgB ₁	ctgA ₃ – ctgB ₃
[b		3	0	0	ctgA ₂ – ctgB ₂	ctgA ₂ – ctgB ₂
[c			3	0	ctgA ₃ – ctgB ₃	0
[d				3	ctgA ₄ – ctgB ₄	0
[e					$\sum_{i=1}^4 (ctgA_i - ctgB_i)$	ctg ² A ₁ + ctg ² B ₁ + ctg ² A ₂ + ctg ² B ₂
[f ₂						ctg ² A ₁ + ctg ² B ₁ + ctg ² A ₂ + ctg ² B ₂

Рішення нормальних рівнянь і вагових функцій

t_{1i}	$\sqrt{3}$	0	0	0	$(ctgA_1 - ctgB_1) / \sqrt{3}$	$(ctgA_1 - ctgB_1) / \sqrt{3}$
t_{2i}		$\sqrt{3}$	0	0	$(ctgA_2 - ctgB_2) / \sqrt{3}$	$(ctgA_2 - ctgB_2) / \sqrt{3}$
t_{3i}			$\sqrt{3}$	0	$(ctgA_3 - ctgB_3) / \sqrt{3}$	0
t_{4i}				$\sqrt{3}$	$(ctgA_4 - ctgB_4) / \sqrt{3}$	0
t_{5i}					$i_{55} = \sqrt{\sum_{i=1}^4 (ctgA_i - ctgB_i)^2 - \frac{1}{3} \sum_{i=1}^4 (ctgA_i - ctgB_i)^2}$	$\sum_{i=1}^2 ctg^2(A \div B) - (ctgA_1 - ctgB_1) -$ t_{55} $-(ctgA_2 - ctgB_2)^2$ t_{55}

$$\frac{1}{P_s} = (ctg^2 A_1 + ctg^2 B_1) + (ctg^2 A_2 + ctg^2 B_2) - \frac{1}{3} (ctgA_1 - ctgB_1)^2 - \frac{1}{3} (ctgA_2 + ctgB_2)^2 -$$

$$- \frac{(ctg^2 A_1 + ctg^2 B_1 + ctg^2 A_2 + ctg^2 B_2) - (ctgA_1 - ctgB_1)^2 - (ctgA_2 + ctgB_2)^2}{\sqrt{\frac{2}{3} \sum_{i=1}^4 (ctgA_i + ctgB_i)^2}}$$

Або формула оберненої ваги зрівноваженого ряду прийме вигляд

$$\frac{1}{P_{Sr}} = \frac{2}{3} \sum_{i=1}^r (ctg^2 A_i + ctg^2 B_i + ctgA_i ctgB_i) - \frac{\frac{2}{3} \sum_{i=1}^r (ctg^2 A_i + ctg^2 B_i + ctgA_i ctgB_i)}{\sqrt{\frac{2}{3} \sum_{i=1}^n (ctgA_i - ctgB_i)^2}}$$

де r , як і раніше, число трикутників вагової функції, n -число трикутників ряду.

Для ряду несучільних спостережень тріангуляції

Таблиця 9

Коефіцієнти умовних рівнянь і вагових функцій ряду
суцільних та несучільних спостережень триангуляції

Назва по- правки в кути	e_a	F_a	e'_a	F'_a
(A ₁)	+ctgA ₁	+ctgA ₁	ctgA ₁ +ctgB ₁	ctgA ₁ ctgB ₁
(B ₁)			ctgB ₁	CtgA ₁
(C ₁)	-ctgB ₁	-ctgB ₁		
(A ₂)	+ctgA ₂	+ctgA ₂	+ctgA ₂	+ctgA ₂
(B ₂)				
(C ₂)	+ctgB ₂	-ctgB ₂	-ctgB ₂	-ctgB ₂
(A ₃)	+ctgA ₁			
(B ₃)			-ctgA ₃	0
(C ₃)	-ctgB ₂		-ctgA ₃ -ctgB ₃	0
(A ₄)	+ctgA ₄		ctgA ₄ +ctgB ₄	0
(B ₄)			ctgB ₄	0
(C ₄)	-ctgA ₄			

Таблиця 10

Коефіцієнти нормальних рівнянь і вагових функцій

	$e]$	$f_3]$
$[e]$	$\sum_{i=1}^n [(ctgA_i + ctgB_i)^2 + ctg^2(A \div B)]$	$\sum_{j=1}^r [(ctgA_j + ctgB_j)^2 + ctg^2(A \div B)]$
$[f_3]$		$\sum_{j=1}^r [(ctgA_j + ctgB_j)^2 + ctg^2(A \div B)]$

$$\frac{1}{P_{Sr}} = \sum_{j=1}^r [(ctgA_j + ctgB_j)^2 + ctg^2(A_j \text{ або } B_j)] - \frac{\sum_{j=1}^r [(ctgA_j + ctgB_j)^2 + ctg^2(A_j \text{ або } B_j)]^2}{\sum_{i=1}^n [(ctgA_i + ctgB_i)^2 + ctg^2(A_i \text{ або } B_i)]} \quad (2.10)$$

Нагадаємо, що перехід від коефіцієнтів умовних рівнянь для невимірних кутів виконується введенням коефіцієнта невимірного кута з оберненим знаком у два других вимірних кути.

Для розглянутого нами ряду несучільних спостережень отримали

$$\frac{1}{P_{S78}} = 6,096 - 1,23 = 4,87 \quad .$$

Середня квадратична похибка сторони

$$m_{S78} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{S78}}} = 1,16 \cdot 2,20 = 2,56''.$$

або

$$m_{S78} = 2,56'' \frac{6219,637}{206265} = 0,077 \text{ м}.$$

При цьому відносна похибка сторони

$$f_{S78} = \frac{0,077}{6219,637} = \frac{1}{80000}.$$

З врахуванням умовних рівнянь дирекційних кутів і координат, величина оберненої ваги даної сторони

$$\frac{1}{P_s} = 6,096 - 0,208 - 1,230 - 0,203 - 3,648 = 0,807 \quad .$$

Середня квадратична похибка сторони

$$m_{S78} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{S78}}} = 1,16 \cdot 0,898 = 1,042''$$

або

$$m_{S78} = 1,042 \frac{6219,637}{206265} = 0,031 \text{ м}.$$

Відносна похибка сторони

$$f_{S78} = \frac{0,031}{6219,637} = \frac{1}{200000}$$

Згідно інструкції для триангуляції 3 класу відносна похибка слабкої сторони $f_{\text{відн}} = 1:120000$. Для ряду суцільних спостережень $m_{S78} = 0,02 \text{ м}$.

Таким чином, основний вплив на точність визначення слабкої сторони робить умовне рівняння ординат, другим по значимості робить вплив умовне рівняння сторони. Умовні рівняння дирекційних кутів і абсцис впливають в меншій мірі на точність визначення зрівноважених сторін.

Для ряду, який опирається на дві вихідні сторони з відомими азимутами, строгі формули оцінки точності елементів ряду не записуються через їх громіздкість, при цьому складається таблиця коефіцієнтів умовних рівнянь і вагових функцій і виконується рішення по складеній автором програмі.

Таблиця 11

Коефіцієнти умовних рівнянь і вагових функцій

Назва поправки в кути	$\alpha_{\text{суц}}$	$S_{\text{суц}}$	$\alpha_{\text{несуц}}$	$S_{\text{несуц}}$	F_{α}	F_s
(A ₁)	0	+ctgA ₁	0	ctgA ₁ +ctgB ₁	0	ctgA ₁ +ctgB ₁
(B ₁)	-1		-1	+ctgB ₁	-1	+ctgB ₁
(C ₁)	0	-ctgB ₁				
(A ₂)	0	+ctgA ₂	-1	+ctgA ₂	-1	+ctgA ₂
(B ₂)	+1					
(C ₂)	0	-ctgB ₂	-1	-ctgB ₂	-1	-ctgB ₂
(A ₃)	0	+ctgA ₃				
(B ₃)	-1		-1	-ctgA ₃		
(C ₃)	0	-ctgB ₃	0	-ctgA ₃ -ctgB ₃		
(A ₄)	0	+ctgA ₄	0	+ctgA ₄ +ctgB ₄		
(B ₄)	+1		+1	+ctgB ₄		
(C ₄)	0	-ctgB ₄				

В подальшому виконується рішення традиційним способом. При наявності умовних рівнянь дирекційних кутів, сторін і координат, попередній розрахунок точності виконується аналогічно тому, як це зроблено в попередніх розділах. Спочатку складеться проект геодезичної мережі 3 і 4 класів, а також 1 і 2 розрядів на картах масштабу 1 : 50000 ÷ 1 : 10000.

Визначивши графічно координати пунктів, знаходять кути в мережі із рішення обернених геодезичних задач. Генеруючи середні квадратичні похибки заданої точності, вводять їх в кожний кут і розраховують обернені ваги і середні квадратичні похибки, а також зрівноважують дану мережу. Все це виконують на стадії проектування і попереднього розрахунку точності.

Вагова функція поперечного зсуву для зорієнтованого ряду суцільних спостережень триангуляції

$$F_g = F_x = \sum_{i=1}^r (y_r - y_i)_{KM} \text{ctg} A_i(A_i) - \sum_{i=1}^r (y_r - y_i)_{KM} \text{ctg} B_i(B_i) + \sum_{i=1}^r (x_r - x_i)_{KM} (\pm C_i) . \quad (2.11)$$

Вагова функція поздовжнього зсуву для зорієнтованого ряду суцільних спостережень триангуляції

$$F_L = F_Y = \sum_{i=1}^r (x_r - x_i)_{KM} \operatorname{ctg} A_i(A_i) - \sum_{i=1}^r (x_r - x_i)_{KM} \operatorname{ctg} B_i(B_i) - \sum_{i=1}^r (y_r - y_i)_{KM} (\pm C_i) . \quad (2.12)$$

Перехід до вагових функцій ряду несучільних спостережень виконується шляхом введення коефіцієнта при невимірюваному куті з оберненим знаком у два виміряні кути з наступним алгебраїчним додаванням коефіцієнтів при відповідних поправках.

Дані теоретичні положення реалізовані в кожній із розглянутих моделей і виробничих мережах.

3. Попередній розрахунок точності елементів ряду парних ланок засічок

В кандидатській дисертації автора було встановлено, що для вільного ряду квадратів середня квадратична похибка визначення зв'язуючої сторони ряду, який складається з r квадратів розраховується за формулою

$$ma_n = 3,16m_\beta \sqrt{r} . \quad (3.1)$$

Для ряду утвореного r квадратами, похибка передачі дирекційного кута будь-якого напрямку розраховується за формулою

$$ma_n = 3,32m_\beta \sqrt{r} . \quad (3.2)$$

В розглянутих нами моделях одержана формула

$$ma_n = 3,62m_\beta \sqrt{r} , \quad (3.3)$$

де n – число довільних чотирикутників.

Ряд, який опирається на два вихідні дирекційні кути, буде мати

$$ma = 1,73\mu\sqrt{n} . \quad (3.4)$$

Для ряду квадратів отримана формула

$$ma = 2,23\mu\sqrt{n} . \quad (3.5)$$

Дана формула не враховує впливу умовного рівняння дирекційних кутів.

Там же було встановлено, що відхилення допоміжних кутів ω в межах $\pm 15^\circ$ не перевищить похибки від строгої формули на величину 15%.

В монографії автора встановлено, що для ряду, який опирається на два вихідні дирекційні кути

$$\frac{1}{P_a} = [ff] - \frac{[af]^2}{aa} = 5(r-11) - 2,5(r-1) = 2,5(r-1) ,$$

16

де r – число квадратів в ряді.

Таким чином,

$$ma = \mu \sqrt{\frac{3}{P_a}} = 1,58\mu\sqrt{(r-1)} . \quad (3.6)$$

Обернена вага слабкої сторони ряду, який опирається на дві вихідні сторони розраховується за формулою

$$\sqrt{\frac{1}{P_s}} = 0,5\sqrt{(r-1)} , \quad (3.7)$$

а середня квадратична похибка сторони буде

$$m_{lgS} = \mu\sqrt{0,5(r-1)} = 0,71\mu\sqrt{(r-1)} \text{ од. 6 зн. Lg} . \quad (3.8)$$

Для ряду із довільних чотирикутників нашої моделі отримаємо

$$m_s = 31,6\mu\sqrt{n} \text{ (мм)} . \quad (3.9)$$

Для ряду парних ланок засічок, який опирається на дві вихідні сторони з відомими дирекційними кутами справедливі ті ж формули, так як умовне рівняння дирекційних кутів незначно впливає на точність визначення сторони і навпаки.

Елементи попереднього розрахунку точності ряду, який опирається на початку і в кінці ряду будуть

$$m_a = 1,23\mu\sqrt{n} \text{ (сек.)} , \quad (3.10)$$

$$m_s = 29,33\mu\sqrt{n} \text{ (мм)} , \quad (3.11)$$

$$m_x = 49,44\mu\sqrt{n} \text{ (мм)} , \quad (3.12)$$

$$m_y = 27,68\mu\sqrt{n} \text{ (мм)} . \quad (3.13)$$

Для вільного ряду

$$m_x = 95,55\mu\sqrt{n} \text{ (мм)} , \quad (3.14)$$

$$m_y = 52,1\mu\sqrt{n} \text{ (мм)} . \quad (3.15)$$

На основі трьох розглянутих нами моделей запишемо формули попереднього розрахунку середньої квадратичної похибки слабкої сторони, яка знаходиться в середині ряду, що опирається на два вихідні дирекційні кути

$$m_{\text{анци}} = 0,52\mu\sqrt{n} \text{ (сек)} , \quad (3.16)$$

$$m_{ancu2} = 0,48\mu\sqrt{n} \quad (\text{сек}) . \quad (3.17)$$

17

$$m_{ancu3} = 0,56\mu\sqrt{n} . \quad (3.18)$$

І в загальному, по середньому значенню коефіцієнта, отримаємо

$$m_{ancu} = 0,52\mu\sqrt{n} . \quad (3.19)$$

Для ряду суцільних спостережень

$$m_{acu1} = 0,41\mu\sqrt{n} . \quad (3.20)$$

$$m_{acu2} = 0,37\mu\sqrt{n} , \quad (3.21)$$

$$m_{acu3} = 0,40\mu\sqrt{n} . \quad (3.22)$$

І в загальному, по середньому значенню коефіцієнта, отримаємо

$$m_{acu} = 0,39\mu\sqrt{n} . \quad (3.23)$$

Середня квадратична похибка слабкої зв'язуючої сторони ряду, який опирається на дві вихідні сторони

$$m_{1Snc} = 0,65\mu\sqrt{n} \quad (\text{сек.}) , \quad (3.24)$$

$$m_{1Snc} = 0,78\mu\sqrt{n} \quad (\text{сек.}) . \quad (3.25)$$

І в загальному, по середньому значенню коефіцієнта, отримаємо

$$m_{1Snc} = 0,72\mu\sqrt{n} \quad (\text{сек.}) . \quad (3.26)$$

Для ряду суцільних спостережень

$$m_{1cu} = 0,47\mu\sqrt{n} \quad (\text{сек.}) , \quad (3.27)$$

$$m_{2Scu} = 0,72\mu\sqrt{n} \quad (\text{сек.}) . \quad (3.28)$$

І в загальному, по середньому значенню коефіцієнта, отримаємо

$$\text{де} \quad m_{Scu} = 0,42\mu\sqrt{n} \quad (\text{сек.}) , \quad (3.29)$$

де

$$m_{mm} = \frac{m_s''}{P} S_{mm} . \quad (3.30)$$

Дані формули будуть справедливі для ряду, який опирається на дві вихідні сторони з відомими дирекцій ними кутами і сторонами, тому що вплив умовного рівняння дирекцій них кутів на точність визначення сторін впливає незначно і навпаки.

Попередній розрахунок точності ряду, який опирається на два вихідні пункти на початку і в кінці ряду виконують за формулами

18

$$m_{ансц} = \frac{0,32 + 0,31 + 0,34}{3} \mu\sqrt{n} = 0,32\mu\sqrt{n} , \quad (3.31)$$

$$m_{асц.} = \frac{0,24 + 0,24 + 0,27}{3} \mu\sqrt{n} = 0,25\mu\sqrt{n} , \quad (3.31)$$

$$m_{S_{nc}} = \frac{0,38 + 0,32 + 0,34}{2} \mu\sqrt{n} = 0,32\mu\sqrt{n}(cek) , \quad (3.33)$$

$$m_{Scu} = \frac{0,28 + 0,24}{2} \mu\sqrt{n} = 0,25\mu\sqrt{n}(cek) , \quad (3.34)$$

де

$$m_s = \frac{m_s''}{p''} S_{mm} , \quad (3.35)$$

$$m_{X_{nc}} = \frac{0,01 + 0,006 + 0,046}{3} \mu\sqrt{n} = 0,21\mu\sqrt{n}(м) , \quad (3.36)$$

$$m_{X_{cu}} = \frac{0,007 + 0,006 + 0,036}{3} \mu\sqrt{n} = 0,016\mu\sqrt{n}(м) , \quad (3.37)$$

$$m_{Y_{nc}} = \frac{0,014 + 0,014 + 0,067}{3} \mu\sqrt{n} = 0,032\mu\sqrt{n}(м) , \quad (3.38)$$

$$m_{Y_{cu}} = \frac{0,010 + 0,018 + 0,050}{3} \mu\sqrt{n} = 0,026\mu\sqrt{n}(м) . \quad (3.39)$$

4 . Попередній розрахунок точності елементів лінійно-кутового ряду несучільних спостережень.

Запроектувавши пункти на карті крупного масштабу і визнавши графічно координати пунктів, із рішення обернених геодезичних задач знаходять кути та сторони, які спотворюють генерованими середніми квадратичними похибками.

При розвитку ряду від двох вихідних пунктів А і В необхідно виміряти сторону СД.

В даному випадку вагова функція дирекційного кута сторони СД розраховується за формулою

19

$$f_{aCD} = \Delta a_{CD} = -(\rho/a) \sin \beta_1(S_1) + (\rho/a) \sin \gamma_1(b_1) + (p/b_4) \sin \beta_4(b_3) - (p/b_4) \sin \gamma_4(S_4) - \\ - (p/b_4) \sin \beta_5(S_5) + (p/b_4) \sin \gamma_5(b_5) + (p/b) \sin \beta_8(b_7) - (p/b) \sin \gamma_8(S_8) - [(b_1/a) \cos \gamma_1 - 1](\delta_1) + \dots (4.1) \\ + (\delta_2) + (\delta_3) - [(b_3/b_4) \cos \beta_4 + 1](\beta_4) - [(b_5/b_4) \cos \gamma_5 - 1](\delta_5) + (\delta_6) + (\delta_7) - [(b_7/b) \cos \beta_8 - 1](\delta_8)$$

Якщо ряд опирається на дві вихідні сторони з відомими дирекційними кутами, слабкий елемент буде в його середині. В даному випадку вагова функція дирекційного кута сторони b_4 розраховується за формулою

$$f_{ab4} = \Delta a_{b4} = -(p/a) \sin \beta_1(S_1) + (p/a) \sin \gamma_1(b_1) + (p/b_4) \sin \beta_4(b_3) - (p/b_4) \sin \gamma_4(S_4) - [(b_3/b_4)] \cos \beta_4 - \\ - 1(\delta_4) - [(b_1/a) \cos \gamma_1 - 1](\delta_1) + (\delta_2) + (\delta_3) \dots (4.2)$$

Вагова функція сторони b_4 розраховується за формулою

$$f_{b4} = \Delta b_4 = \cos \alpha_4(b_3) + \cos \gamma_4(S_4) + (S_4/p) \sin \alpha_4(\delta_4) \dots (4.3)$$

Складається таблиця коефіцієнтів умовних рівнянь і вагових функцій. І в нашому випадку будемо мати

Таблиця 12

Коефіцієнти умовних рівнянь і вагових функцій

□ Назва поправки	Вага Р	a/\sqrt{P} $\Delta AB2$ $(1/\sqrt{P})=20$	b/\sqrt{P} $\Delta DC6$ $(1/\sqrt{P})=20$	c/\sqrt{P} 2346 $(1/\sqrt{P})=0,2$	$d/\sqrt{P} a$ $(1/\sqrt{P})=0,2$	F_{b4}/\sqrt{P}	F_{ab4}/\sqrt{P}
(S ₁)	0,0025	-0,198			-0,803		-0,803
(b ₁)	0,0025	-0,502			+0,658		+0,658
(b ₃)	0,0025			+0,112	+0,778	+0,112	+0,778
(b ₄)	0,025			+0,055	-0,902	+0,055	-0,902
(S ₅)	0,0025			-0,035	-0,924		
(b ₅)	0,0025			-0,126	+0,729		
(b ₇)	0,0025		-0,486		+0,873		
(S ₈)	0,0025		-0,048		-1,073		
(δ ₁)	1	-1			+0,244		+0,244

(δ_2)	1				+1		+1
(δ_3)	1				+1		+1
(δ_4)	1			+0,2.22	+0,299	+0,222	+0.299
(δ_5)	1			-0,216	+0,178		
(δ_6)	1				+1		
(δ_7)	1				+1		
(δ_8)	1				+0,073		
(W)		-1,39"	+0,12"	+0,7 дм	-1,356"		

20

Таблиця 13

Коефіцієнти нормальних рівнянь і вагових функцій

	a/\sqrt{P}	b/\sqrt{P}	c/\sqrt{P}	d/\sqrt{P}	f_{b4}/\sqrt{P}	f_{ab4}/\sqrt{P}	W	S
$[a/\sqrt{P}]$	1,291	0	0	-0,415	0	-0,415	-1,39	-0,929
$[b/\sqrt{P}]$		1,238	0	-0,446	0	0	+0,12	+0,912
$[c/\sqrt{P}]$			0,129	+0,006	+0,065	+0,104	+0,70	+1,004
$[d/\sqrt{P}]$				9,981	+0,104	+4,646	-1,356	+12,534
[f]					+0,065	+4,646		

Таблиця 14

Рішення нормальних рівнянь і вагових функцій

	1	2	3	4	5	6	7	8
t_{ji}	1,136	0	0	-0,365	0	-0,365	-1,223	-0,818
t_{ji}		1,113	0	-0,401	0	0	+0,108	+0,820
t_{ji}			0,359	+0,017	+0,181	+0,290	+1,949	+2,795
t_{ji}				3,112	+0,032	+1,448	-0,576	+4,022
$K_1 \sqrt{\frac{1}{P}}$	+1,1360	-0,0303	-5,4377	+0,18502	$\sqrt{\frac{1}{P_{b4}}} = 0,177$	$\sqrt{\frac{1}{P_a}} = 0,527$	ПХЗ:-0,18502=-K ₄	

При середній квадратичній похибці одиниці ваги в 2", середня квадратична похибка зрівноваженої сторони b₄

$$m_{b4} = 2'' \sqrt{\frac{1}{P_{b4}}} = 0,37 \text{ дм} = 37 \text{ мм}$$

$$f_{\text{вiдн}} = \frac{0,037}{4395,102} = \frac{1}{118000}.$$

При допустимій середній квадратичній похибці визначення слабкої сторони в триангуляції 4 класу 1: 70000 і точності вимірювання кутів 2".

Середня квадратична похибка зрівноваженого дирекційного кута m_{ab4}

$$m_{b4} = 2'' \sqrt{\frac{1}{P_{\alpha b4}}} = 2'' \cdot 1,53 = 3,06''.$$

вагові функції визначення координат кінцевого пункту ряду має вигляд :
- поперечний зсув для зорієнтованого ряду

21

$$\begin{aligned} F_g = F_{x_c} = \Delta x_c = & [\cos a_{B2} + (y_c - y_B) \sin \beta_1 / a](S_1) - \\ & - [\sin \gamma_1 (y_c - y_B) / a](b_1) - [\sin \beta_4 (y_c - y_4) / b_4](b_3) + \\ & + [\cos a_{24} + \sin \gamma_4 (y_c - y_4) / b_4](S_4) + \\ & + [\cos a_{46} + \sin \beta_5 (y_c - y_4) / b_4](S_5) - \\ & - [\sin \gamma_5 + (y_c - y_4) / b_4](b_5) + \cos a_{6C} (S_8) + \\ & + [b_1 \cos \gamma_1 (y_c - y_B) / ap - (y_c - y_2) / p](\delta_1) - \\ & - [(y_c - y_2) / \rho](\delta_2) - [(y_c - y_2) / \rho](\delta_3) + \\ & + [b_3 \cos \beta (y_c - y_4) / b_{4p} - (y_c - y_2) / p](\delta_4) + \\ & + [b_5 \cos \gamma (y_c - y_4) / b_{4p} - (y_c - y_6) / p](\delta_4) - \\ & - [(y_c - y_6) / p](\delta_6) - [(y_c - y_6) / p](\delta_7) - \\ & - [(y_c - y_6) / p](\delta_8) \end{aligned} \quad (4.4)$$

Поздовжній зсув для зорієнтованого ряду

$$\begin{aligned} F_L = F_{y_c} = \Delta y_c = & [\sin \beta_2 - (x_c - x_B) \sin \beta_1 / a](S_1) + \\ & + [\sin \gamma_1 (x_c - x_B) / a](b_1) + [\sin \beta_4 (x_c - x_4) / b_4](b_3) + \\ & + [\sin a_{24} - \sin \gamma_4 (x_c - x_4) / b_4](S_4) + \\ & + [\sin a_{46} - \sin \beta_5 (x_c - x_4) / b_4](S_3) + \\ & + [\sin \gamma_5 - (x_c - x_4) / b_4](b_5) + \sin a_{6C} (S_8) - \\ & - [b_1 \cos \gamma_1 (x_c - x_B) / ap + (x_c - x_2) / p](\delta_1) + \\ & + [(x_c - x_B) / p](\delta_2) + [(x_c - x_2) / p](\delta_3) - \\ & - [b_3 \cos \beta_4 (x_c - x_4) / b_{4p} + (x_c - x_2) / p](\delta_4) - \\ & - [b_3 \cos \gamma_5 (x_c - x_4) / b_{4p} + (x_c - x_6) / p](\delta_3) + \\ & + [(x_c - x_6) / p](\delta_6) + [(x_c - x_6) / p](\delta_7) + \\ & + [(x_c - x_6) / p](\delta_8) \end{aligned} \quad (4.5)$$

Для зорієнтованого ряду, який опирається на два вихідні пункти А і С слабким пунктом буде пункт 4, який знаходиться в середині ряду.

В даному випадку вагова функція поперечного зсуву ряду

$$Fg = F_{X4} = [\cos a_{B2} + (y_4 - y_B) \sin \beta_1 / a](S_1) - \\ - [\sin \gamma_1 (y_4 - y_B) / a](b_1) - \cos a_{24}(S_4) + \\ + [b_1 \cos \gamma_1 (y_4 - y_B) / ap - (y_4 - y_2) / p](\delta_1) - \\ - [(y_4 - y_2) / p](\delta_2) - [(y_4 - y_2) / p](\delta_3) - \\ - [(y_4 - y_2) / p](\delta_4) \quad , \quad (4.6)$$

22

поздовжнього зсуву ряду

$$F_L = F_{Y4} = [\sin \beta_2 - (x_4 - x_B) \sin \beta_1 / a](S_1) + \\ + [\sin \gamma_1 (x_4 - x_B) / a](b_1) + \sin a_{24}(S_4) - \\ - [b_1 \cos \gamma_1 (x_4 - x_B) / ap + (x_4 - x_2) / p](\delta_1) + \\ + [(x_4 - x_2) / p](\delta_2) + [(x_4 - x_2) / p](\delta_3) - \\ - [(x_4 - x_2) / p](\delta_4) \quad (4.7)$$

Результати розрахунку за цими формулами зводяться в таблицю 15

Таблиця 15

Коефіцієнти умовних рівнянь і вагових функцій

□ Назва по- правки	Вага Р	a/\sqrt{P} $\Delta AB2$ $(1/\sqrt{P})=20$	$c/\sqrt{P} \cdot 2345$ $(1/\sqrt{P})=20$	$e/\sqrt{P} X$ $(1/\sqrt{P})=0,2$	$d/\sqrt{P} Y$ $(1/\sqrt{P})=0,2$	F_{X4}/\sqrt{P}	F_{Y4}/\sqrt{P}
(S ₁)	0,0025	-0,198		+0,759	+0,187	+0,397	+0,217
(b ₁)	0,0025	-0,502		-0,608	+0,010	-0,311	-0,014
(b ₃)	0,0025		+0,112	-0,351	+0,028		
(S ₄)	0,0025		+0,055	+0,370	+0,164	-0,037	+0,200
(S ₅)	0,0025		-0,035	+0,470	+0,159		
(b ₅)	0,0025		-0,126	-0,329	+0,027		
(S ₆)	0,0025			-0,018	+0,199		
(δ ₁)	1	-1		+0,021	-0,017	+0,400	-0,210
(δ ₂)	1			-0,678	-0,006	+0,043	+0,226
(δ ₃)	1			-0,678	-0,006	+0,043	+0,226
(δ ₄)	1		+0,222	-0,362	-0,032	+0,043	+0,226
(δ ₅)	1		-0,216	-0,132	-0,052		
(δ ₆)	1			-0,239	-0,022		
(δ ₇)	1			-0,239	-0,022		
(δ ₈)	1			-0,239	-0,02.2		
(W)	1	-1,39"	+0,7 дм	-1,53 дм	+0,39дм		

Таблиця 16

Коефіцієнт нормальних рівнянь і вагових функцій

	a/\sqrt{P}	c/\sqrt{P}	e/\sqrt{P}	$[g/\sqrt{P}]$	f_x	f_y	W	S
$[a/\sqrt{P}]$	1,291	0	+0,134	-0,025	-0,322	+0,174	-1,39	-0,138
$[c/\sqrt{P}]$		1,129	-0,103	+0,007	+0,008	+0,061	+0,70	+0,802
$[e/\sqrt{P}]$			2,775	+0,277	+0,411	-0,145	-1,53	+1,819
$[g/\sqrt{P}]$				+0,134	+0,056	+0,067	+0,39	+0,906
$[f]$					+0,421	+0,245		

23

Таблиця 17

Рішення нормальних рівнянь і вагових функцій

	1	2	3	4	5	6	7	8
t_{1i}	1,136	0	+0,118	-0,022	-0,283	+0,153	-1,223	-0,121
t_{2i}		+0,359	-0,287	+0,019	+0,022	+0,170	+1,949	+2,232
t_{3i}			+1,637	+0,174	+0,275	-0,070	-0,505	+1,512
t_{4i}				+0,321	+0,005	+0,247	+1,290	+1,864
$K_1 \sqrt{\frac{1}{P}}$	+0,922	-4,627	+0,736	-4,023	$\sqrt{\frac{1}{P_x}} = 0,514$	$\sqrt{\frac{1}{P_y}} = 0,356$	ПХЗ: +4,023 = -K ₄	

При середній квадратичній похибці одиниці ваги в 1, 6 " середня квадратична похибка координат 4 пункту буде

$$m_g = m_{x4} = 1,6 \sqrt{\frac{1}{P_{x4}}} = 1,6 \cdot 0,51 = 0,816 \text{ дм} = 82 \text{ мм}$$

$$m_L = m_{y4} = 1,6 \sqrt{\frac{1}{P_{y4}}} = 1,6 \cdot 0,36 = 0,576 \text{ дм} = 58 \text{ мм}$$

Як бачимо, відсутність умовного рівняння дирекційних кутів збільшує поперечний зсув ряду.

Повне врахування умовних рівнянь виконується таким чином

Таблиця 18

Коефіцієнти нормальних рівнянь і вагових функцій

	a/\sqrt{P}	b/\sqrt{P}	c/\sqrt{P}	d/\sqrt{P}	e/\sqrt{P}	g/\sqrt{P}
1	2	3	4	5	6	7
$[a/\sqrt{P}]$	2,582	0	0	+0,163	-0,409	-0,056

$[b/\sqrt{P}]$		2,478	0	+0,107	+0,241	+0,003
$[c/\sqrt{P}]$			0,257	+0,005	-0,107	+0,011
$[d/\sqrt{P}]$				14,407	-5,700	-1,196
$[e/\sqrt{P}]$					4,006	+0,481
$[g/\sqrt{P}]$						+0.263
[f]						

Продовження таблиці 18

	$F_L]$	$F_S]$	$F_X]$	$F_Y]$	W	S
1	8	9	10	11	12	13
$[a/\sqrt{P}$	+0,169	0	-0,647	+0,595	-1,39	+1,007
$[b/\sqrt{P}$	0	0	0	0	+0,12	+2,949
$[c/\sqrt{P}$	-0,015	+0,130	+0,006	+0,066	+0,70	+1,053
$[d/\sqrt{P}$	+6,210	-0,015	-0,850	-0,169	-1,356	+11,606
$[e/\sqrt{P}$	-4,089	-0,048	+0,917	-0,041	-1,53	-6,279
$[g/\sqrt{P}$	-0,526	+0,011	+0,080	+0,105	+0,39	-0,434
[f	6,210	+0,130	+0,545	+0,372		

Таблиця 19

Рішення нормальних рівнянь і вагових функцій

1	2	3	4	5	6	7
t_{1i}	+1,607	0	0	+0,101	-0,254	-0,035
t_{2i}		+1,574	0	+0,068	+0,153	+0,002
t_{3i}			+0,507	+0,010	-0,211	+0,022
t_{4i}				+3,794	-1,498	-0,314
t_{5i}					+1,276	+0,005
t_{6i}						+0,403
K	+0,6716	-0,184	-2,164	+0,453	+1,219	-1,41695

Продовження таблиці 19

1	8	9	10	11	12	13
t_{1i}	+0,105	0	-0,403	+0,370	-0,865	+0,627
t_{2i}	0	0	0	0	+0,076	+1,873
t_{3i}	-0,030	+0,256	+0,012	+0,130	+1,381	+2,077
t_{4i}	+1,634	-0,005	-0,214	-0,055	-0,339	+3,004
t_{5i}	-1,270	-0,001	+0,389	-0,002	-1,549	-1,150
t_{6i}	-0,006	+0,009	-0,009	+0,242	+0,571	+1,209
K	$\sqrt{\frac{1}{P_L}} = 1,38$	$\sqrt{\frac{1}{P_S}} = 0,254$	$\sqrt{\frac{1}{P_X}} = 0,430$	$\sqrt{\frac{1}{P_Y}} = 0,396$	ПХЗ; +1,416952	

Таким чином, при розвитку лінійно - кутового ряду методом несучільних спостережень при точності виміру кутів $2''$ і точності виміру в 4 см одержана середня квадратична похибка одиниці вимірюваного напрямку.

$$\mu = \sqrt{\frac{[PVV]}{5}} = \sqrt{\frac{5,432}{6}} = 0,95''.$$

Середня квадратична похибка сторони b_4

$$m_{b4} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{b4}}} = 0,95 \cdot 0,13 = 0,12 \text{ дм} = 12 \text{ мм}.$$

Середня квадратична похибка дирекційного кута

$$m_{ab4} = 2'' \sqrt{\frac{1}{P_{ab4}}} = 0,95 \cdot 1,38 = 1,31''.$$

Середні квадратичні похибки координат

$$m_g = m_{x4} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_x}} = 0,95 \cdot 0,43 = 0,41 \text{ дм} = 41 \text{ мм}$$

$$m_L = m_{y4} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_y}} = 0,95 \cdot 0,40 = 0,38 \text{ дм} = 38 \text{ мм}$$

Поздовжній і поперечний зсуви зрівноваженого ряду в невільних рядах, які опираються на вихідні пункти старшого класу, однакові.

Гранична істинна похибка визначення координат не перевищила 48 мм.

Таблиця 20

Порівняльна таблиця точності

	Модель Літнаровича		Модель Яков-лева		Модель Рабіновича	
	Несуц.	Суц.	Несуц.	Суц.	Несуц.	Суц.
1	2	3	4	5	6	7
m_s	1,5''	1,5''	1,08	1,08	1,06	1,06
μ	0,56'' _{напр}	0,67'' _{напр}	1,16	1,2	0,82'' _{кута}	1,00
m_a	0,51''	0,45''	1,01''	0,8''	0,74''	2,15''
m_s	12,7 ми	11,5мм	3см	2см	1	1
					200000	240000
m_x	1,5см	1,4 см	2см	2см	10см	9,5см
m_y	2,2см	1,9см	5см	6см	14.5см	13.3 см
ΔX_{\max}	-4,5см	-2,2см	-8см	-8см	+13 см	+13 см
ΔY_{\max}	+5,2см	+3,4 см	+9см	+9см	+11 см	+11 см
M_{xy}	27мм	24мм	50 мм	65 мм	180мм	160мм
$M' = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$	69 мм	40 мм	120мм	120мм	170мм	170мм

	МППЗ					Лінійні кути
1	8	9	10	11	12	13
m_s	0,7"	1"	1,5"	2"	3,3"	2" і 4 см
μ	0,21" <small>напр</small>	0,53" <small>напр</small>	0,72" <small>напр</small>	0,94" <small>напр</small>	1,73" <small>напр</small>	0,95" <small>напр</small>
m_a	0,52"	1,3"	1,7'	2,3"	4,25"	1,31"
m_s	12 мм	31мм	42мм	55мм	102мм	12мм
m_x	2,1см	5,2 см	7,1см	9,3см	17,1см	4,1см
m_y	1,2см	2,9см	2,5см	5,2см	9,5см	3,8 см
ΔX_{\max}	-2,4см	3,5см	3,7см	+3,9см	+16,3см	4,5 см
ΔY_{\max}	+5,1см	-3,9 см	5,7см	-7,4см	+6,2 см	4,8 см
M_{xy}	24мм	59мм	75 мм	106 мм	196мм	56мм
$M' = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$	56 мм	52 мм	68мм	84 мм	174мм	66мм

ВИСНОВКИ

Таким чином, на точність визначення поперечного зсуву зорієнтованого ряду основний вплив надає умовне рівняння трикутника АВ2, тому що розвиток ряду проходить без вимірювання кутів, які примикають, на вихідних пунктах.

Наступним компонентом за значимістю є умовне рівняння координат. Третім за значимістю виявилось умовне рівняння дирекційних кутів.

Умовні рівняння чотирикутника і ординат незначно впливають на поперечний зсув ряду.

На повздовжній зсув ряду основний вплив також надає умова трикутника АВ2.

Другий за значимістю виявилось умовне рівняння ординат, третім – умовне рівняння чотирикутника 2346. Четвертим за значимістю на повздовжній зсув впливає умовне рівняння дирекційних кутів.

Умовне рівняння абсцис незначно впливає на повздовжній зсув ряду.

Основний вплив на точність визначення сторони b_4 впливає умова чотирикутника. Мовні рівняння дирекційних кутів і координат незначно впливають на точність визначення сторони b_4 .

На точність передачі дирекційного кута основний вплив виявляє саме умовне рівняння дирекційних кутів. Другим за значимістю компонентом виявилось умовне рівняння абсцис. Менш значимо впливає умовне рівняння трикутника.

Деякий вплив виявляє умова чотирикутника і зовсім незначний вплив умова ординат.

Таким чином, коли розрахована вихідна сторони близькі за величиною, виміри третього кута не підвищують точності обчислення сторін.

Звідси не потрібно робити висновку, що вимірювання третього кута взагалі не потрібно робити в даному випадку.

Вимірювання третього кута уточнює величини дирекційних кутів сторін, уточнює розрахунок координат вершин і, крім цього, дає хороший контроль вимірів. (стор. 578 А,С, Чеботарев, В,Г, Соколов, Геодезія. Ч,П,М,: Геодезиздат, 1962-614с.)

Але розроблена теорія її апробація дає можливість строго врахувати невиміряні кути і впровадити нову технологію у виробництво.

Література

1. Літнарівч Р.М. Розробка технології створення планової геодезичної мережі методом парних ланок засічок. Навчальний посібник з курсу “Методологія наукових досліджень”. Частина VII. РДТУ, м. Рівне, 1999, 34 с.
2. Літнарівч Р.М. Розробка технології створення планової геодезичної мережі методом парних ланок засічок. Навчальний посібник з курсу “Методологія наукових досліджень”. Частина VIII. РДТУ, м. Рівне, 1999.
3. Літнарівч Р.М. Розробка технології створення планової геодезичної мережі методом несучіх спостережень триангуляції. Навчальний посібник з курсу “Методи наукових досліджень”. Частина IX. РДТУ, м. Рівне, 1999, 45 с.
4. Літнарівч Р.М. Розробка технології створення планової геодезичної мережі методом несучіх спостережень триангуляції. Навчальний посібник з курсу “Методи наукових досліджень”. Частина X, XI. РДТУ, м. Рівне, 1999.
5. Літнарівч Р.М. Розробка технології створення планової геодезичної мережі лінійно – кутовим методом несучіх спостережень. Навчальний посібник з курсу “Методи наукових досліджень”. Частина XII, XIII. РДТУ, м. Рівне, 1999.

Автор – Літнарівч Руслан Миколайович, доцент, кандидат технічних наук

3.05.99 р.

Текст відредагувала і набрала у видавничому редакторі Word for Window '98 Ковтун Юлія Миколаївна

м. Чернігів

вул. Стрілецька, 1

[URL:www.geci.cn.ua](http://www.geci.cn.ua)

E-mail:rector@geci.cn.ua

Тел.: (0462) 179-308

(04622) 5-61-70